

**И. С. Балафендиева, Д. В. Бережной,  
М. К. Сагдатуллин, Л. Р. Секаева**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Verzhnoi.Dmitri@mail.ru, LRSekaeva@kpfu.ru*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ  
ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА,  
РАСПОЛОЖЕННОМ В ГРУНТЕ СЛОЖНОЙ  
ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

В работе предложена конечно-элементная методика расчета деформирования обделки тоннеля метрополитена, расположенного в сухом и водонасыщенном грунте. Для моделирования взаимодействия между элементами деформируемых конструкций и грунтовыми средами используется специальный “контактный” конечный элемент, позволяющий учесть все случаи взаимодействия контактирующих поверхностей. Решен ряд задач деформирования кольца обделки тоннеля метрополитена, расположенного в грунте сложной физической природы.

При проектировании современных транспортных и строительных сооружений часто практикуются работы в грунтах, находящихся в сложнейших физико-геологических условиях. Традиционно в механике деформируемого твердого тела используются методики, в которых используется лагранжево описание сплошной среды. В этом случае формулируется краевая задача в дифференциальной или вариационной формах, для решения которой возможно использование различных численных алгоритмов. В последнее время получили развитие пошаговые методы нагружения, в соответствии с которыми процесс деформирования представляется как последовательность равновесных состояний, и переход из текущего состояния в по-

следующее определяется приращением нагрузки, изменением граничных условий или расчетной области и т.д. При моделировании взаимодействия элементов конструкций с грунтами в большинстве случаев для адекватной оценки характера деформирования используются различные методики контактного взаимодействия элементов конструкций между собой и с грунтом. Для описания пластического деформирования обычно используется связь между приращениями компонент тензора обобщенных напряжений и тензора деформаций Коши–Грина в виде уравнений Прандтля–Рейсса для упрочняющегося материала.

Для моделирования механического контакта используется специальный контактный элемент, позволяющий учесть возможные различные случаи взаимодействия между собой контактирующих поверхностей, в частности, отрыва, проскальзывания с трением и т.д.

Будем считать, что первоначальное обжатие контактного конечного элемента всегда существует.

Для решения нелинейной задачи используется итерационный метод, являющийся комбинацией метода начальных напряжений и метода дополнительной деформации.

Разработана и реализована методика определения напряженно-деформированного состояния в обделке тоннеля метрополитена на основе уточненных моделей. Рассматривалась задача о взаимодействии кольца обделки с грунтовым массивом, достигнувшем предельного состояния. Численные расчеты свидетельствуют о достижении грунтом предельного состояния в части расчетной области.

Еще одна расчетная схема предполагает решение стационарной задачи консолидации грунтовой среды, которая учиты-

вает взаимное влияние давления грунтовых вод и напряженно-деформированного состояния скелета грунта. Проведены исследования течения грунтовых вод на напряженное состояние в грунте и обделке. Для этого на боковых поверхностях расчетной области задавались некоторые условные значения потока. В этом случае давление грунтовых вод приобретало неравномерность распределения по горизонтали и появлялась боковая составляющая нагрузки. В кольце обделки уровень напряжений незначительно увеличивается.

Предложенный метод решения задач механики с конкретными приложениями относится к современной технологии научного сопровождения, проектирования и строительства сложных объектов. Его использование позволяет проследить за изменением напряженно-деформированного состояния и поля перемещений структурно изменяющейся расчетной области от начала и до конца строительства. Это позволяет более точно и технически грамотно принимать проектные решения для различных этапов строительных работ, что зачастую нельзя сделать, опираясь только на существующие СНИПы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голованов А. И., Бережной Д. В. *Метод конечных элементов в механике деформируемых твердых тел.* – Казань, 2001. – 300 с.
2. Бережной Д. В., Голованов А. И., Луканкин С. А., Секаева Л. Р. *Моделирование поведения железобетонной обделки тоннеля в деформируемом грунте с учетом одностороннего контактного взаимодействия ее блоков через упругие прокладки* // Вестник Казан. гос. технич. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 4–9.

3. Бережной Д. В., Кузнецова И. С., Саченков А. А. *Моделирование пластического деформирования многослойного грунта в зоне опоры многопролетного моста* // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. – 2010. – Т. 152. – Кн. 1. – С. 116–125.

**А. С. Бегун, Е. О. Хусаинова**

*Институт автоматики и процессов управления  
Дальневосточного отделения РАН, Владивостокский  
государственный университет экономики и сервиса,  
ustinova@iacp.dvo.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

В настоящей работе рассматривается класс задач о вискозиметрических течениях упруговязкопластических материалов между жесткими коаксиальными цилиндрами. Для математического описания исследуемых процессов используется модель больших упругопластических деформаций [1], обобщенная на случай учета вязких свойств материала при пластическом течении в [2]. Рассмотрено деформирование материала за счет поворота и винтового движения одного из цилиндров, изучен совместный случай поворота одной из жестких поверхностей и продавливания материала между цилиндрами. На жестких поверхностях отдельно рассмотрены случай прилипания и случай проскальзывания материала.

Найдены условия зарождения и закономерности развития вязкопластических течений. Показано, что пластическое течение всегда начинается в окрестности внутреннего жесткого